



19



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 691 785 A5

51 Int. Cl.⁷: F 42 B 012/74
F 42 B 012/76

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 01909/96

22 Anmeldungsdatum: 30.07.1996

24 Patent erteilt: 15.10.2001

45 Patentschrift
veröffentlicht: 15.10.2001

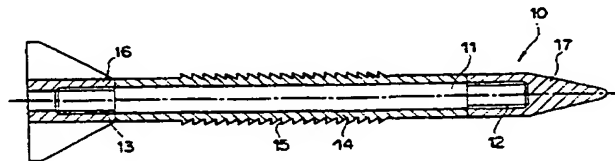
73 Inhaber:
Schweizerische Unternehmung für Waffensysteme,
Allmendstrasse 86, 3602 Thun (CH)

72 Erfinder:
Walter Lanz, Riedstrasse 34,
3626 Hünibach (CH)

74 Vertreter:
Bovard AG Patentanwälte, Optingenstrasse 16,
3000 Bern 25 (CH)

54 Verbund-Pfeilgeschoss, insbesondere für die Panzerabwehr.

57 Das Verbund-Pfeilgeschoss (10) weist einen Schwermetall-Kern (11) mit einem Schlankheitsgrad $L/D \geq 38$ auf. Eine Stützhülse (14), vorzugsweise aus einem leichten Material mit hohem E-Modul, ist auf den Kern (11) aufgesetzt. Auf ein vorderes Gewinde (12) des Kerns ist eine ballistische Spitze (17) aufgeschraubt. Auf ein hinteres Gewinde (13) des Kerns ist ein Leitwerk (16) aufgeschraubt. Das sehr schlanke Verbund-Pfeilgeschoss kann problemlos auf sehr hohe Geschwindigkeiten beschleunigt werden und erleidet in Schott- bzw. Schürzenzielen keine Mehrfachbrüche mehr, im Gegensatz zu herkömmlichen, nicht gestützten Pfeilen.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verbund-Pfeilgeschoss, insbesondere für die Panzerabwehr, gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Zum Erreichen noch grösserer Durchschlagsleistungen werden neben den bekannten Hohlladungen (Chemische Energie/Sprenggeschoss) auch sogenannte KE (Kinetische Energie)-Geschosse eingesetzt. Bei Letzteren kommt es darauf an, dass das Geschossmaterial eine hohe Dichte aufweist, dass das Geschoss eine möglichst grosse Länge aufweist und dass es eine möglichst hohe Geschwindigkeit erreicht. Derartige Geschosse werden üblicherweise ab Hochdruck-Kanonen verschiedenen Kalibers verschossen, für die schwere Panzerabwehr vorzugsweise ab grosskalibrigen Panzerkanonen. Die zum Beschleunigen solcher Geschosse zur Verfügung stehende Energie ist selbst bei schweren Panzern beschränkt und der System-Wirkungsgrad ist mit der absehbaren Pulvertechnologie in engen Grenzen gegeben. Auch die Länge des Geschosses ist durch Randbedingungen in der Waffe bzw. im Kampffahrzeug nicht beliebig gross wählbar. Die notwendigen Geschwindigkeiten lassen sich also letztlich nur dadurch erzielen, dass man das lange Geschoss sehr dünn und damit leicht macht.

Hier stösst man aber auf zweierlei Grenzen, indem zum einen sehr schlanke Geschosse (Längen-Durchmesser Verhältnis $L/D \geq 30$) bereits beim Abschuss derartige Biegebeanspruchungen erleiden, dass sie brechen können, und zum anderen sie infolge von Mehrfachbrüchen ein schlechtes Verhalten in Zielen bzw. Panzerungen zeigen, welche aus mehreren, fallweise weit auseinandergezogenen Panzerplatten bestehen (Schott- bzw. Schürzenpanzerungen).

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, zu erreichen, dass sehr schlanke Schwermetallkerne problemlos auf sehr hohe Geschwindigkeiten beschleunigt werden können und zudem in Schott- bzw. Schürzenzielen keine Mehrfachbrüche mehr erleiden. Dies wird erfindungsgemäss erzielt durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1.

Bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen.

Die Anwendung einer stützenden Hülse, vorzugsweise aus leichtem Werkstoff mit hohem E-Modul, gewährleistet im Verbund mit dem schlanken Kern ($L/D \geq 38$) genügend Biege-Widerstand dank geeigneter Dimensionierung von Kern und Hülse. Weiterhin wichtig ist die Wahl einer geeigneten Strukturierung (Solbruchstellen bzw. Unterteilung des Kernes in der Hülse), einer geeigneten Verbindungsmethode zwischen Kern und Hülse sowie eine geeignete Wahl des Hülsewerkstoffes auch im Hinblick auf das endballistische Verhalten. Werden weitere Massnahmen am Geschützrohr vorgenommen, um die unvermeidlichen Querbeschleunigungen zu reduzieren, erweitert dies den Anwendungsbereich von Verbund-Pfeilgeschossen nochmals.

Im Folgenden werden anhand der beiliegenden

Zeichnungen der Stand der Technik sowie Ausführungsbeispiele der Erfindung näher beschrieben. Es zeigen:

- 5 Fig. 1 ein herkömmliches Pfeilgeschoss,
- Fig. 2 die Wirkungen des herkömmlichen Pfeilgeschosses gemäss Fig. 1,
- Fig. 3 ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Verbund-Pfeilgeschosses mit aufgeschraubter ballistischer Haube,
- 10 Fig. 4 ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Verbund-Pfeilgeschosses mit angedrehter ballistischer Spitze,
- Fig. 5 ein drittes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Verbund-Pfeilgeschosses mit durchwegs als Gewindestab ausgebildetem Kern,
- 15 Fig. 6 ein viertes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Verbund-Pfeilgeschosses mit einem durchgehend glatten Kern,
- 20 Fig. 7 ein fünftes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Verbund-Pfeilgeschosses,
- Fig. 8 die Wirkungen des erfindungsgemässen Verbund-Pfeilgeschosses,
- 25 Fig. 9 ein Diagramm, welches den Einfluss der Geschosslänge L und der Geschwindigkeit v auf die Durchschlagsgrenze T in Panzerstahl zeigt,
- Fig. 10 den Einschusskrater eines erfindungsgemässen Verbund-Pfeilgeschosses,
- 30 Fig. 11 ein Diagramm betreffend den relativen Kraterdurchmesser in Panzerstahl in Funktion der Auftreffgeschwindigkeit,
- Fig. 12 eine Tabelle, die den Vergleich verschiedener Hülse-Werkstoffe für Verbund-Pfeilgeschosse zeigt.
- 35 Fig. 1 zeigt ein herkömmliches Geschoss, Kaliber 20–140 mm. Beim unterkalibrigen Schwermetall-Kern 1 (z.B. hochfestes W-Fe-Ni-Sintermetall) ist der Durchmesser des Kerns viel kleiner als der Durchmesser des Geschützrohres ($\varnothing D \ll \varnothing K$). Das Längen/Durchmesser-Verhältnis des Kerns L/D beträgt $L/D \leq 30$. Die Dichte beträgt $\rho \approx 17,5 \text{ gcm}^{-3}$. Der Treibkäfig 2 besteht aus Alu oder FK [faserverstärkter Kunststoff] mit einer Dichte 2 bis 2,8, ist mindestens 2-teilig und führt das Geschoss im Geschützrohr 3 des Kalibers K . Er löst sich an der Rohrmündung vom Geschoss und fällt in 2, 3 oder 4 Teilen, je nach Teilung, nach kurzer Flugstrecke zu Boden. Der Kern 1 weist am hinteren Ende ein Gewinde 4 auf, auf welches ein Leitwerk 5, bestehend aus Alu, Titan oder Stahl, geschraubt ist. Der Kern ist im mittleren Bereich mit Rillen 6 zur Befestigung des Treibkäfigs 2 versehen. Bei voller Ausnützung der verfügbaren Länge L wird das Geschoss sehr schwer, es sei denn, man mache es dünner, was einem hohen Schlankheitsgrad $\lambda = L/D$ entspricht. Eine niedrige Geschwindigkeit bedeutet aber eine relativ geringe Durchschlagsleistung (Fig. 9). Bei Schlankheitsgraden $L/D \geq 30$ wirken innenballistische Kräfte (Querbeschleunigungen infolge nicht ganz gerader Rohrbohrung) derart, dass sich das Geschoss an der Mündung sichtbar durchbiegt, was im Extremfall zum Bruch führen kann. Bei Schlankheitsgraden $L/D \geq 30$ treten beim Beschuss von bestimmten Test-Zielen Mehrfachbrüche
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

im Geschoss auf, welche die Durchschlagsleistung stark reduzieren. Die einzelnen Fragmente scheren sofort aus der Flugachse aus und erzeugen eigene Einschusskrater geringer Tiefe anstatt eines einzigen, sehr tiefen Einschusskanals, wie er von einem unbeschädigten Geschoss erzeugt würde.

Fig. 2 zeigt die Wirkungen des herkömmlichen Pfeilgeschosses. Der herkömmliche Pfeil 7 mit $L/D \geq 30$ hat die erste Platte 8 («Schürze») durchschlagen und dabei einen doppelten Bruch erlitten; die drei Geschossfragmente erzeugen nun in der zweiten Panzerplatte 9 je einen Krater geringer Tiefe. Ein unbeschädigtes Geschoss hätte auch die zweite Panzerplatte durchschlagen (siehe Fig. 8).

Fig. 3 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemässen Verbund-Pfeilgeschosses 10 mit Kaliber 20–160 mm. Das Geschoss umfasst einen hochfesten Schwermetall-Kern 11 aus Wolfram-Sintermetall, der an beiden Enden mit je einem Gewinde 12, 13 versehen ist. Der Kern weist, wie bei allen Ausführungsbeispielen der Erfindung, ein Längen/Durchmesser-Verhältnis von $L/D \geq 38$ auf. Auf dem Kern 11 ist eine Stützhülse 14, vorzugsweise aus einem leichten Material mit hohem E-Modul, (z.B. Stahl, Titan, Alu oder CFK) aufgesetzt. Die Hülse kann mit dem Kern durch eine Gewindeverbindung, durch Einlöten des Kerns in die Hülse, durch Einkleben des Kerns in die Hülse, mit einem Press- bzw. Schrumpfsitz zwischen Kern und Hülse oder einer Kombination von zwei oder mehr dieser Möglichkeiten verbunden sein. Sie alle müssen einer Axialbeschleunigung von mindestens 50 000 g widerstehen. Die versteifende Hülse 14 ist mit Rillen 15 (oder einem geeigneten Gewinde) zum Befestigen des Treibkäfigs versehen. Auf das hintere Gewinde 13 des Kerns ist ein Leitwerk 16 aus Aluminium, Titan oder Stahl aufgeschraubt. Auf das vordere Gewinde 12 des Kerns 11 ist eine ballistische Haube 17 aus Schwermetall oder einem anderen, leichteren Metall wie z.B. Stahl oder Alu aufgeschraubt. Die Gewinde-Partien dieses Ausführungsbeispiels sind gleichzeitig Sollbruch-Stellen beim Impact auf das Ziel. Sie geben als Schwachstellen im Extremfall zuerst nach und bewahren den ungekerbten Teil vor Brüchen.

Fig. 4 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemässen Verbund-Pfeilgeschosses 18. Bei diesem Ausführungsbeispiel weist der unterkalibrige Schwermetall-Kern 19, der eine Dichte $\rho = 17,5 \text{ gcm}^{-3}$ und eine sehr grosse Schlankheit $L/D \geq 38$ aufweist, eine angedrehte ballistische Spitze 20 auf. Die Hülse 21 ist entsprechend der ballistischen Spitze ausgebildet und mit dem Kern auf eine der in Bezug auf Fig. 3 angegebenen Art verbunden. Die Hülse ist ebenfalls mit Rillen 22 zur Befestigung des nicht dargestellten Treibkäfigs versehen. Ein Leitwerk 23 ist auf ein am hinteren Ende des Kerns 19 angebrachtes Gewinde 24 aufgeschraubt.

Durch die Reduktion des Durchmesser D_w des Schwermetall-Kerns (beispielsweise von 28,3 auf 20 mm) kann, bei unveränderter Länge L , die Masse des Kern auf die Hälfte reduziert werden, was in eine massiv höhere Geschwindigkeit umgesetzt werden kann (je nach Randbedingungen um mehr als 300 m/s erhöhte Geschwindigkeit, bezogen auf

z.B. 1500 m/s). Dies bedeutet eine wesentlich verbesserte Durchschlagsleistung, siehe Fig. 9. Ein Teil der Masse, die man durch Herunterdrehen des Kerns von 28,3 mm ($L/D = 30$ bei 850 mm Länge) auf 20 mm einspart, wird nun allerdings durch die Hülse 14, 21 wieder in Anspruch genommen. Trotzdem verbleibt ein beträchtlicher Geschwindigkeitsgewinn (siehe Fig. 12).

Der Verbund-Pfeil, gekennzeichnet durch den sehr schlanken Kern 11, 19 mit $\varnothing D_w$ und die Hülse mit $\varnothing D_H$ erreicht nicht nur in Einplatten-Panzerstahlzielen, sondern auch in Schott- und Schürzenzielen verbesserte Durchschlagsleistungen, weil die stützende Hülse den Kern auch bei den extrem-dynamischen, endballistischen Vorgängen wirksam stützt. Im Gegensatz zum herkömmlichen Pfeil sind keine Geschossbrüche mehr festzustellen.

Sollte infolge des Auftreff-Schockes im Ziele trotzdem Bruchgefahr bestehen, lässt sich mit Sollbruchstellen oder gar physischer Unterteilung des Kernes das Bruchverhalten derart steuern, dass nur Kopf- und Heckpartie brechen, siehe Fig. 6 und 7, der lange Mittelteil jedoch nicht beschädigt wird.

Die Hülse bietet auch die Möglichkeit, die Schnittstelle («Gewinde») zum Treibkäfig optimal zu gestalten. Die klassische Kombination Wolfram-Kern/Alu-Treibkäfig funktioniert zwar sehr gut, weil die E-Moduln stark verschieden sind, damit kommen alle Rillen bzw. Gewindegänge ($\sim 100!$) gleichmässig zum Tragen. Der Trend geht aber hin zu leichteren Treibkäfigen, vorzugsweise aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK) mit ebenfalls hohem E-Modul. Eine Leichtmetall-Hülse (Titan/Alu) übernimmt dann zusätzlich die Rolle als elastisches Interface zwischen den beiden starren Werkstoffen W und CFK.

Aus Sicht der Endballistik sind Schwermetalle günstig, leichtere Werkstoffe ungünstig, wie schon das « $\sqrt{\rho}$ »-Gesetz zeigt:

Die Durchschlagsleistung eines Geschosses der Länge L ist in erster Näherung

$$T = L \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_Z}}$$

ρ_G = Dichte des Geschossmaterials
 ρ_Z = Dichte des Zielmaterials

Das Aufsetzen einer Hülse auf einen Schwermetallkern ist somit theoretisch von Nachteil, weil es die mittlere Dichte ρ_G des Geschosses herabsetzt.

Da aber Schwermetallkerne des Durchmessers D_w in Panzerplatten überkalibergrosse Löcher des mittleren Durchmessers D_M schlagen, kann eine aufgesetzte Hülse ($\varnothing D_H$) ungehindert mit eindringen, falls der $\varnothing D_H$ nicht zu gross ist.

Die Erfindung beinhaltet nun auch die Dimensionierung des Hülsen- $\varnothing D_H$, indem Kern und Hülse etwa gleiche Biegesteifigkeit aufweisen:

$$\begin{aligned} E_w I_w &= E_H I_H \\ E_w \cdot D_w^4 &= E_H (D_H^4 - D_w^4) \end{aligned}$$

$$\frac{D_H}{D_W} = \sqrt[4]{\frac{E_W}{E_H} + 1}$$

E_W = E-Modul des Kerns

$I_W = c \times$ Trägheitsmoment des Kerns

E_H = E-Modul der Hülse

$I_H = c \times$ Trägheitsmoment der Hülse

In der Tabelle gemäss Fig. 12 sind nun diverse Hülzen nach diesem Gesichtspunkt dimensioniert. Die Fig. 12 zeigt, dass Durchbiegungen und Spannungen mit einer leichten Hülse massiv reduziert werden, verglichen mit reinen Wolfram-Kernen, dass bezüglich Masse CFK mit Abstand am besten ist, gefolgt von Aluminium und dass massive Geschwindigkeitsgewinne realisiert werden können, verglichen mit dem $\varnothing 28,3 \times 850$ Standardgeschoss mit 9340 g Masse. Für die Wahl des Hülzenwerkstoffes spielen auch ausserballistische Aspekte eine erhebliche Rolle.

Fig. 5 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemässen Verbund-Pfeilgeschosses 25. Der Schwermetallkern 26 ist durchgehend als Gewindestab ausgebildet. Darauf werden die Hülse 27, die ballistische Haube 28 und das Leitwerk 29 geschraubt. Die Hülse ist ebenfalls mit Rillen 30 zum Befestigen des Treibkäfigs versehen. Der Nachteil bei diesem Ausführungsbeispiel liegt in der Kerbwirkung, hervorgerufen durch das Gewindeprofil, welche den Kern bezüglich Zug und Biegung schwächt. Es wird keine genaue Zentrierung der Elemente erzielt. Der Vorteil liegt darin, dass die Lösung einfach ist.

Beim vierten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Verbund-Pfeilgeschosses 39 gemäss Fig. 6 ist der Kern 33 durchgehend glatt ausgebildet. Das Leitwerk 34 (bzw. die Flügel des Leitwerkes) ist direkt auf der Hülse 35, z.B. durch Schweissen, befestigt. Die Hülse und der Kern sind vor dem Leitwerk und vor der Spitze 36 mit Sollbruchstellen 37 und 38 versehen. Die Ausführung dieses Verbund-Pfeilgeschosses ist völlig kerbfrei.

In Fig. 7 ist das fünfte Ausführungsbeispiel eines Verbund-Pfeilgeschosses 39 dargestellt. Bei diesem Ausführungsbeispiel weist die Hülse 40 ebenfalls hinten und vorne Sollbruchstellen 41 auf. Der Kern 42 ist bei den Sollbruchstellen 41 der Hülse getrennt, d.h. drei oder mehrteilig ausgebildet.

Bei den Ausführungsformen gemäss den Fig. 6 und 7 ist die Hülse mit dem Kern ebenfalls auf eine der in Bezug auf Fig. 3 angegebenen Art verbunden.

Bei allen Ausführungsbeispielen weist der Kern vorzugsweise eine Zugfestigkeit von mindestens 1200 N/mm² auf. Der Kern besteht vorzugsweise aus hochfestem Wolfram-Sintermetall oder aus einer Uran/Titan-Legierung.

Fig. 8 zeigt die Wirkungen des erfindungsgemässen Verbund-Pfeilgeschosses beim Durchschuss einer «Schürze». Das Geschoss 43 durchschlägt die beiden Platten 44 und 45. Es entstehen keine Brüche des Geschosses mehr, trotz den noch schlan-

keren Geschossen als beim Stand der Technik (Fig. 2), dank der Hülse.

Fig. 9 zeigt ein Diagramm betreffend den Einfluss der Geschosslänge L und der Geschwindigkeit v auf die Durchschlagsgrenze T in Panzerstahl (Härte 245 HB).

Fig. 10 zeigt den mittleren Kraterdurchmesser $\varnothing D_M$ und die Tiefe T des Einschusskraters im Vergleich mit dem Geschoss- $\varnothing D$.

Das Diagramm gemäss Fig. 11 zeigt den relativen Kraterdurchmesser D_M/D in Panzerstahl (Härte 245 HB), in Funktion der Auftreffgeschwindigkeit v.

Die Tabelle gemäss Fig. 12 zeigt einen Vergleich verschiedener Hülzenwerkstoffe für Verbund-Pfeilgeschosse.

Patentansprüche

1. Verbund-Pfeilgeschoss (10), insbesondere für die Panzerabwehr, mit einem Kern (11) aus Schwermetall und einem Leitwerk (16), mit einer den Kern (11) umgebenden, versteifenden Hülse (14) aus einem im Vergleich mit dem Schwermetall des Kerns leichteren Material mit entsprechend hohem E-Modul, wobei die Hülse (14) mit Mitteln zum Befestigen eines Treibkäfigs versehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass das Längen/Durchmesser-Verhältnis des Kerns $L/D \geq 38$ beträgt und die Hülse eine etwa gleiche Biegesteifigkeit aufweist wie der Kern.

2. Verbund-Pfeilgeschoss nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kern aus hochfestem Schwermetall mit einer Dichte von etwa 17,5 gcm⁻³ besteht.

3. Verbund-Pfeilgeschoss nach Patentanspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Kern eine Zugfestigkeit von mindestens 1200 N/mm² aufweist.

4. Verbund-Pfeilgeschoss nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Kern aus Wolfram-Sintermetall besteht.

5. Verbund-Pfeilgeschoss nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Kern aus einer Uran/Titan-Legierung besteht.

6. Verbund-Pfeilgeschoss nach einem der vorangehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das leichtere Material der Hülse aus St, Ti, Al oder CFK besteht.

7. Verbund-Pfeilgeschoss nach einem der vorangehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kern (40) und/oder die Hülse (42) mit mindestens einer Sollbruchstelle (44, 45) versehen ist.

8. Verbund-Pfeilgeschoss nach einem der vorangehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Pfeilgeschoss mit einer ballistischen Spitze (17) versehen ist.

9. Verbund-Pfeilgeschoss nach einem der vorangehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hülse mit dem Kern durch eine Gewindeverbindung verbunden ist.

10. Verbund-Pfeilgeschoss nach einem der vorangehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hülse mit dem Kern durch Einlöten des Kerns in die Hülse verbunden ist.

11. Verbund-Pfeilgeschoss nach einem der vorangehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hülse mit dem Kern durch Einkleben desselben in die Hülse verbunden ist.

12. Verbund-Pfeilgeschoss nach einem der vorangehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hülse mit dem Kern durch einen Press- bzw. Schrumpfsitz zwischen Kern und Hülse verbunden ist.

13. Verbund-Pfeilgeschoss nach einem der vorangehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hülse mit dem Kern durch eine Gewindeverbindung und/oder durch Einlöten des Kerns in die Hülse und/oder durch Einkleben des Kerns in die Hülse und/oder durch einen Press- bzw. Schrumpfsitz zwischen Kern und Hülse verbunden ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

5

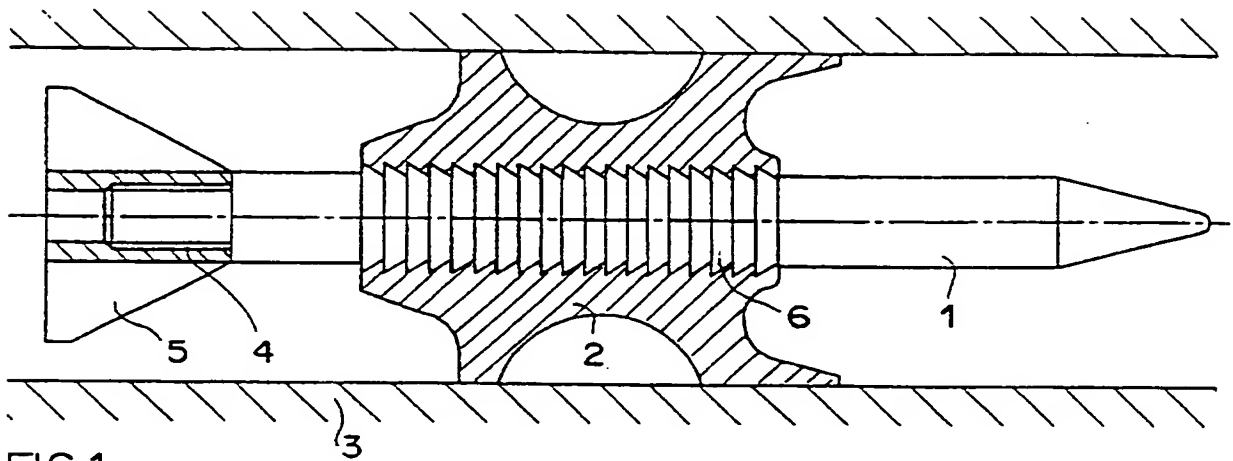


FIG. 1

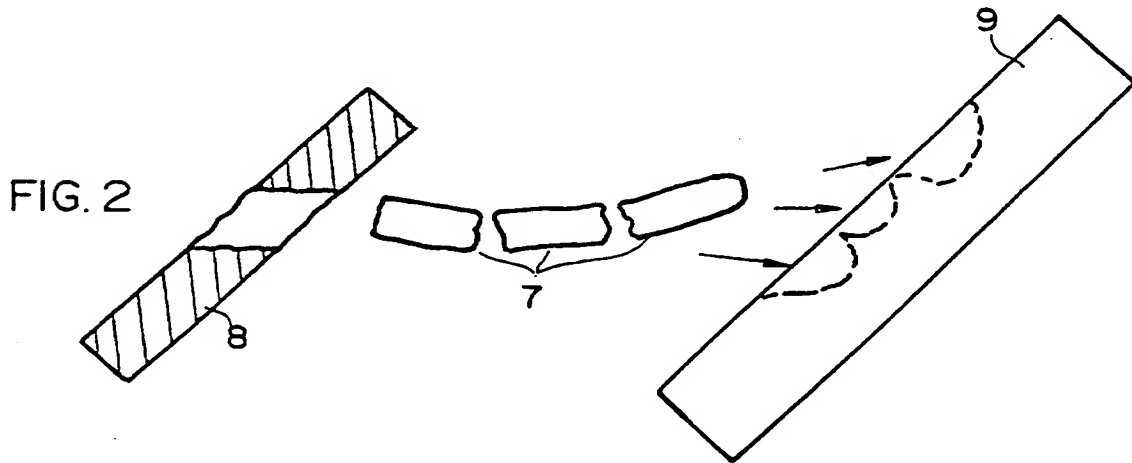


FIG. 2

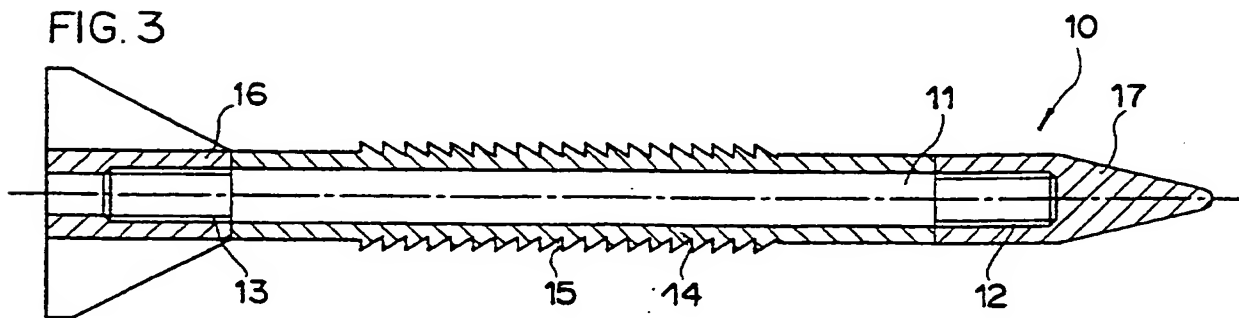


FIG. 3

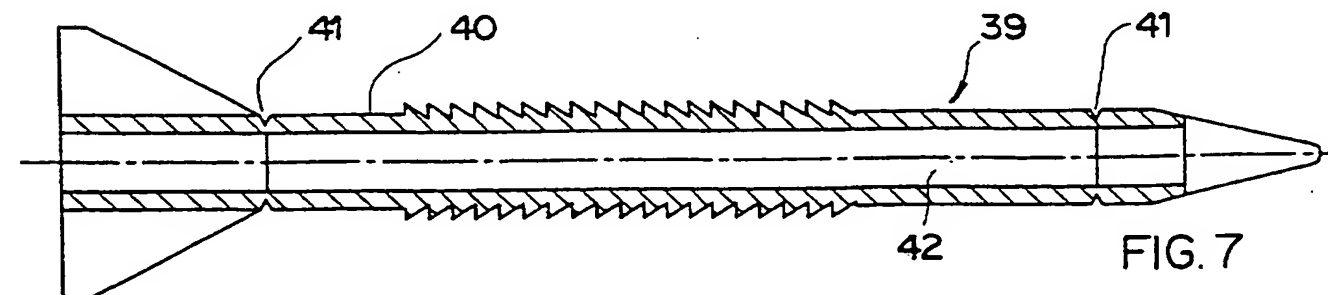
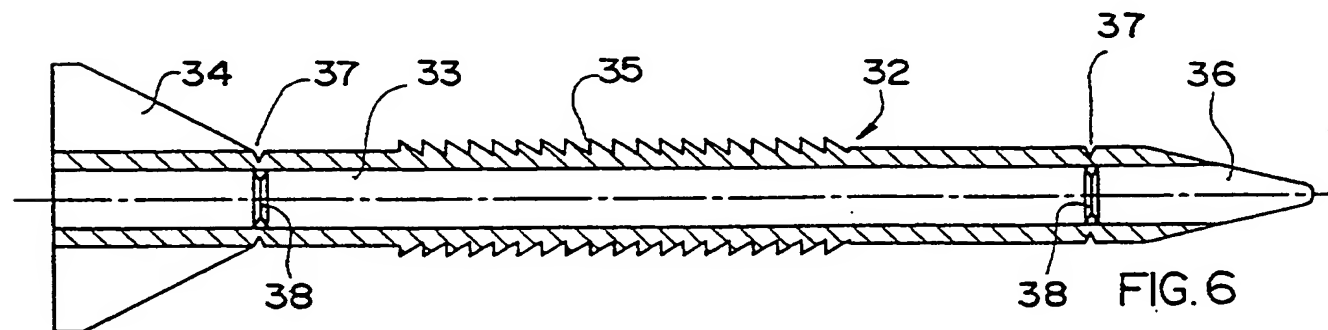
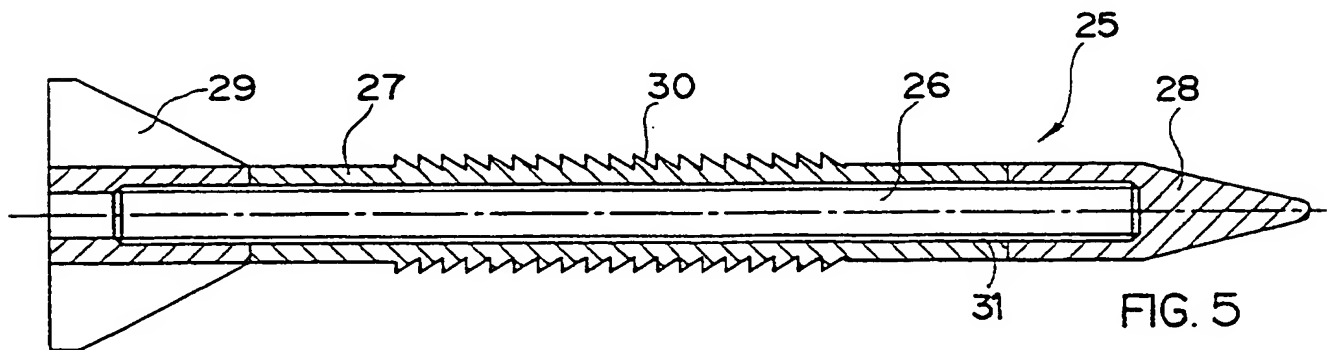
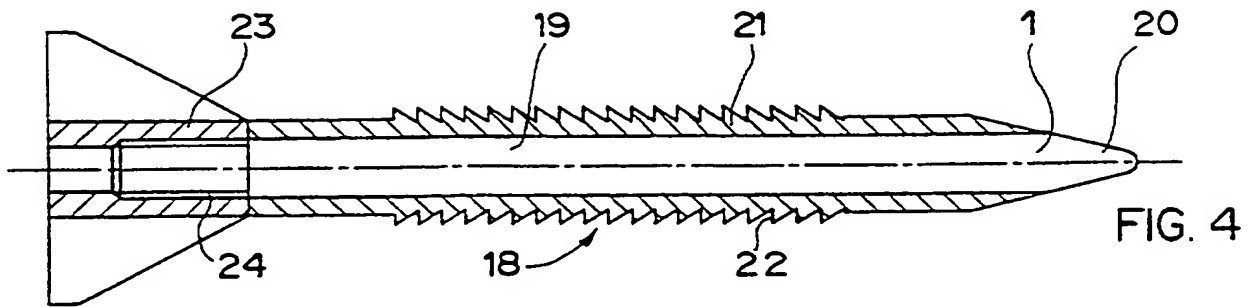


FIG. 8

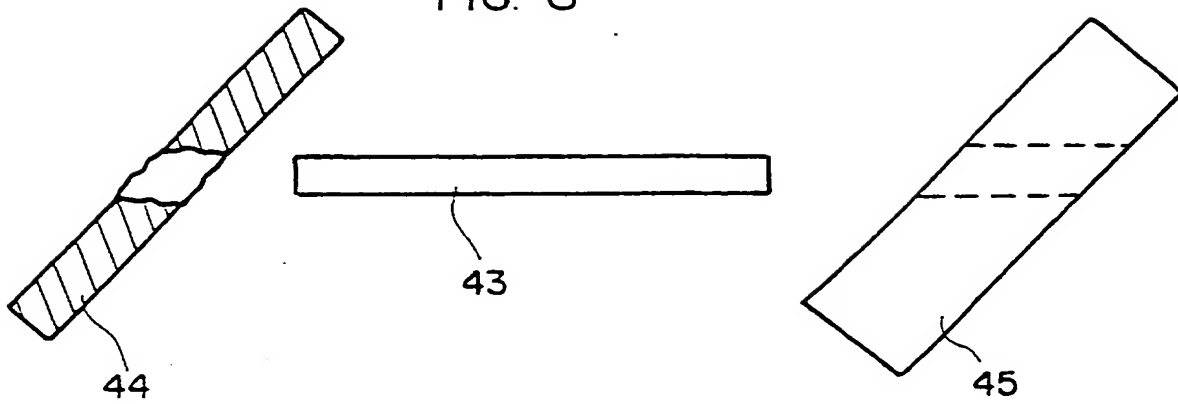
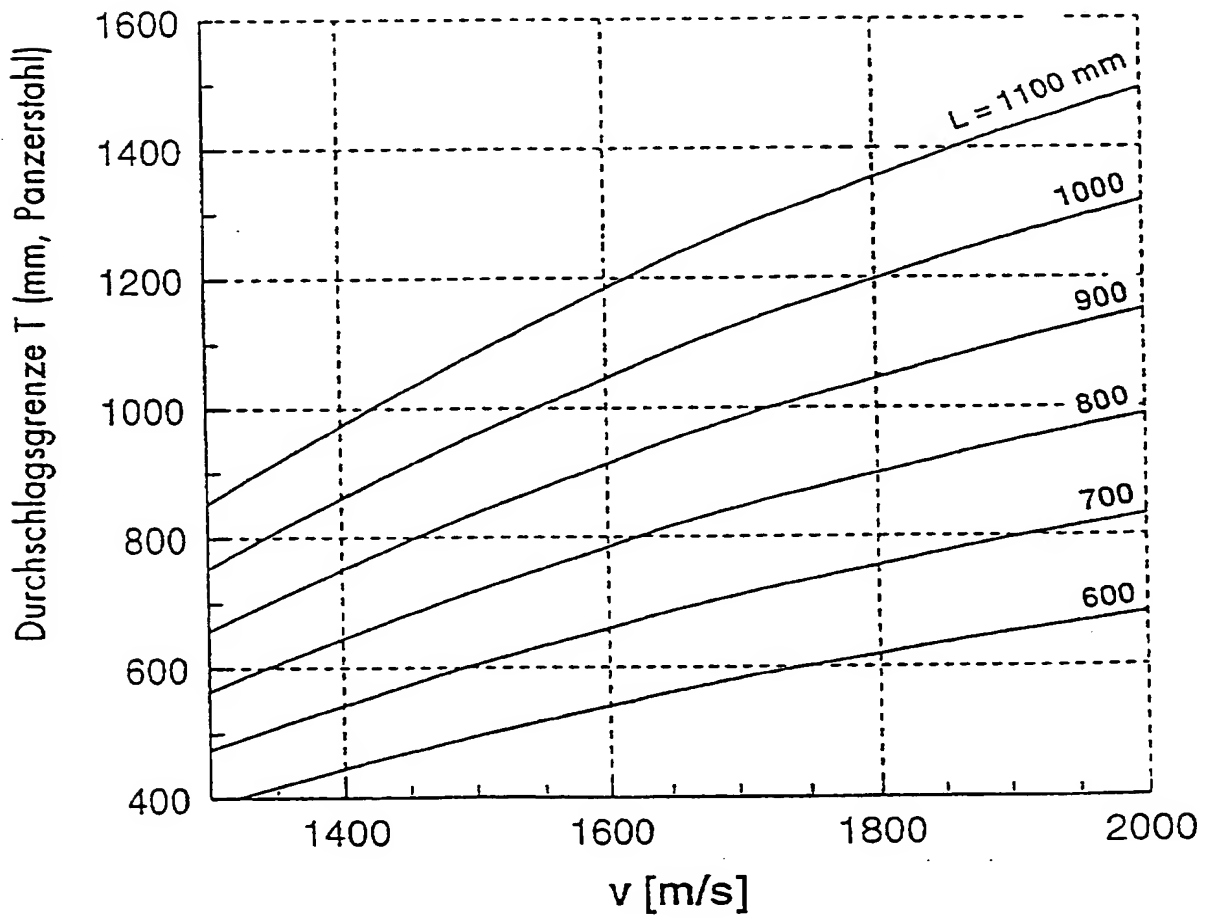


FIG. 9



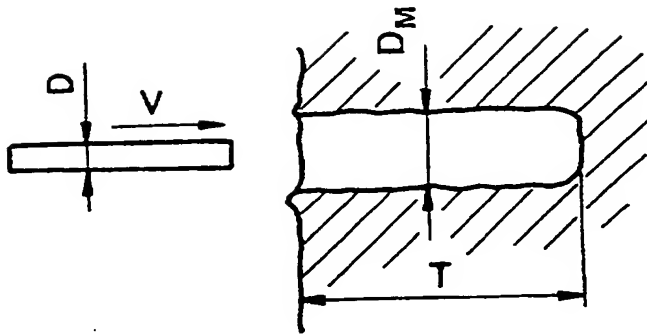


FIG. 10

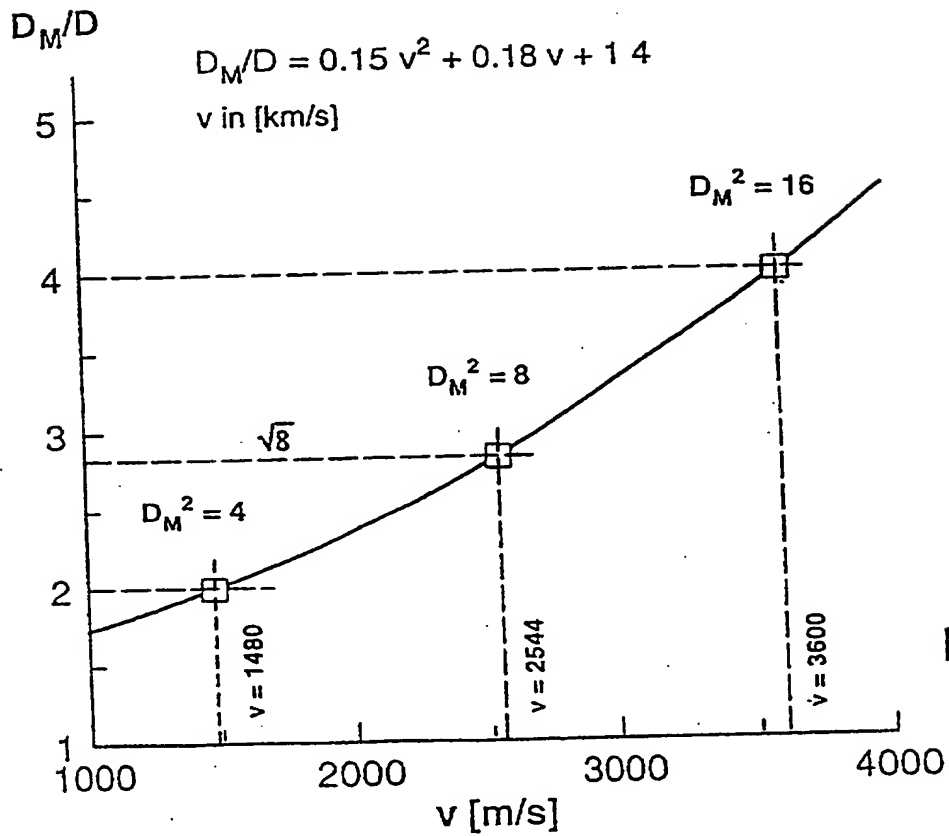


FIG. 11

FIG.12

Vergleich verschiedener Hülsen-Werkstoffe für Verbund-Pfeilgeschosse

(auf Wolfram-Kern, Ø 20 mm, Länge 850 mm; Länge der Hülse 700 mm, Ø der Hülse variabel, so bemessen, dass Kern und Hülse gleiche Biegesteifigkeit aufweisen)

(Hülsen)-Werkstoff	1	2	3	4	5	6	7
Dichte ρ (g/cm ³)	17.5	17.5	7.85	4.45	2.8	1.6	17.5
Elastizitätsmodul E (10 ³ N/mm ²)	350	350	210	115	70	110	350
Durchschnittsverhältnis für gleiche Biegesteifigkeit von Kern und Hülse $D_k/D_w = \left(\frac{E_w}{E_H} + 1\right)^{1/4}$	-	-	1.28	1.42	1.565	1.46	1.19
Durchmesser der Hülse D_k (mm)	28.3	20	25.6	28.4	31.3	29.1	23.8
Durchmesser des Wolframkernes D_w (mm)	28.3	20	20	20	20	20	20
Biegesteifigkeit $E_w D_w^4 + E_H (D_k^4 - D_w^4)$ (10 ³ N·mm ²)	224	56	112	112	112	112	112
Masse der Hülse m_k (g)	-	-	1102	995	892	393	1601
Masse des Wolfram-Kernes m_w (g)	9340	4670	4670	4670	4670	4670	4670
Masse des Pfeiles $m_t = m_k + m_w$ (g)	9340	4670	5772	5665	5562	5063	6271
Querschnittsbelastung m_t/D_k^2 (g/mm ²)	11.66	11.68	8.81	7.02	5.68	5.99	11.45
Für 1000 ms ⁻²							
Durchbiegung f_{max} (mm)	6.8	13.6	8.4	8.2	8.1	7.4	9.1
max. Biege-Spannung $\sigma_{H_{max}}$ (N/mm ²)	438	620	366	263	193	218	495
max. Biege-Spannung im Wolfram-Kern $\sigma_{W_{max}}$ (N/mm ²)	438	620	286	185	123	150	495
V_0 für $E_0 = 15$ MJ mit $m_t = 4.5$ kg = const.	1472	1809	1709	1718	1727	1771	1669

V_0 = Mündungsgeschwindigkeit

Kolonne 1: Konventioneller Pfeil, ohne Hülse [Stand der Technik 1996, L/D = 30]

E_0 = Mündungsenergie

Kolonne 2: Superschlanker Kern, Masse gegenüber Kolonne 1 halbiert (L/D = 42,4)

m_t = Masse des Treibköfigs

Kolonne 7: Kern gestützt mit Wolfram-Hülse, \Rightarrow konventioneller Pfeil (L/D = 35,7)